



jh210003-NAH

小野寺 直幸 (日本原子力研究開発機構システム計算科学センター)

GPU・CPU・ARMプロセッサに対する

原子力CFDアプリケーション用の混合精度ポアソン解法

研究計画全体の概要

本研究は、エクサスケールスパコンを活用した原子力数値流体力学 (CFD) 解析の実現に向けて、圧力Poisson解法の高速度・高度化を目的とする。具体的には、ブロック型適合細分化格子 (AMR) 法に適した前処理手法の高速度、および、様々な演算機での最適化に対応可能なプログラミングモデルの開発、を実施する。これを、日本原子力研究開発機構 (JAEA) で開発している多相流体解析モデルJUPITER[参考文献1]に適用することで、原子力CFD解析の更なる高速度・大規模化を実現する。

JUPITERコードは継続的に高速度化されており、昨年度のJHPCN課題では、GPU・CPU・ARMプロセッサ上にて動作するブロック型AMR格子に対応した、マルチグリッド (MG) 前処理付きPoisson解法を開発し、TSUBAMEのGPUを用いた計算において、MG法を適用しないP-CG法と比較して10倍以上の高速度を達成した[参考文献2]。一方で、図1に示すバンドル体系に対する多相流体解析には、非常に長い計算時間が必要であるため、更なる高速度化が求められている。

今年度のJHPCN課題では、(a) 前処理手法に対する半精度・単精度浮動小数点数 (FP32、FP16) の適用、並びに (b) GPU・CPU・ARMプロセッサに対する最適化を実施することで、高速度および性能可搬性の両立を目指す。

以上の高度化により、原子力分野のCFD解析で必要となるエクサスケールスパコンを用いたマルチスケール現象への非定常解析が初めて可能となり、様々な工学問題への発展に貢献できる。

1. S. Yamashita, T. Ina, Y. Idomura, and H. Yoshida, A numerical simulation method for molten material behavior in nuclear reactors, Nuclear Eng Design, 322, pp. 301-312, 2017
2. N. Onodera, Y. Idomura, Y. Hasegawa, S. Yamashita, T. Shimokawabe, and T. Aoki, GPU Acceleration of Multigrid Preconditioned Conjugate Gradient Solver on Block-Structured Cartesian Grid, HPC Asia 2021

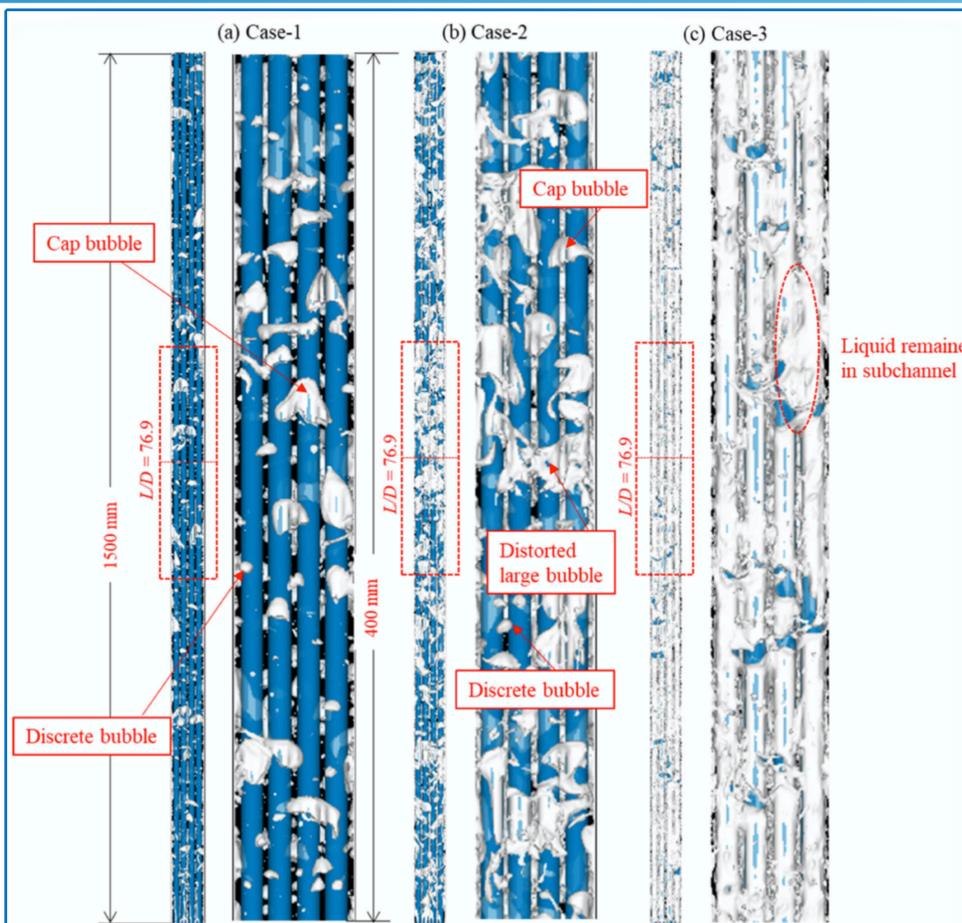
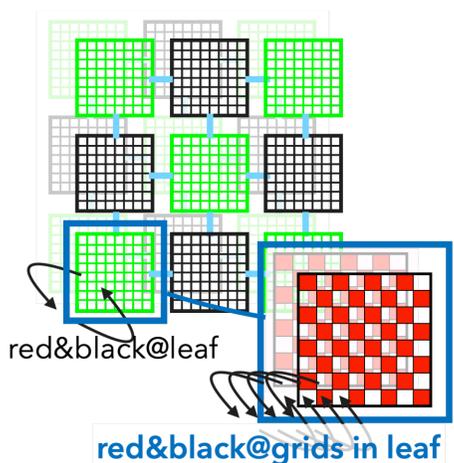


Fig.1 JUPITER code @ JAEA  
バンドル体系での様々な流動形式に対する気液多相流体解析

→ Scalable and Fast Multigrid Poisson solver on AMR framework

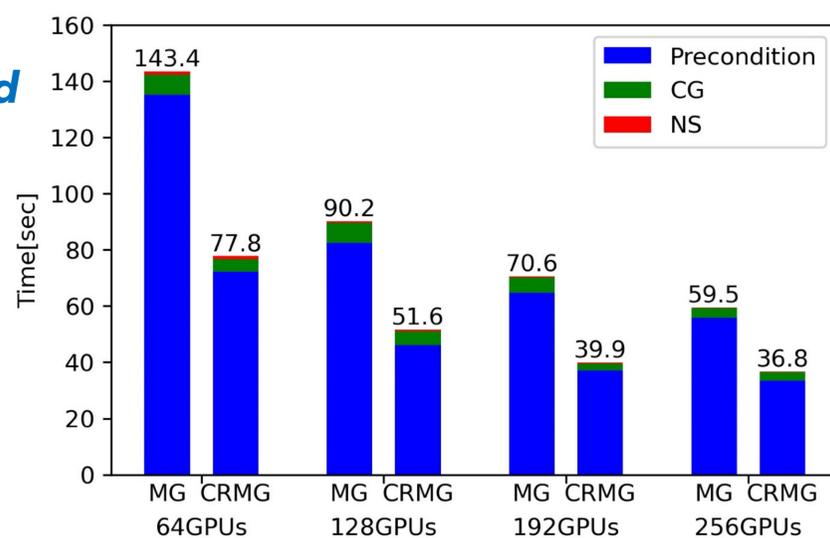
混合精度を用いたマルチグリッド前処理手法 (CR-SOR法) の高速度化

- ✓ Reduce computation and communication cost
- ✓ Cache-reuse optimization for a block-structured AMR grid



```
for (leaf_colors) {
  // global to shared memory
  // xx : local cache
  __shared__ real xx[NX*NX*NX]
  for (subiter) {
    for (i: NX^3) {
      calc_red(xx)
      calc_black(xx)
    }
  }
  ↑ キャッシュ上にて反復計算
  混合精度の前処理を適用可能
}
```

Fig.2 CR-SOR method on a block-structured AMR grid.



The strong scaling of MGCG and CR-MGCG methods.  
計算規模 1,024 x 1,024 x 3,072 (double-precision)

JHPCN 共同研究体制

(1) JHPCN拠点

- 東京工業大学 TSUBAME3.0 : NVIDIA GPU
- 東京大学 Oakbridge-CX : Intel Xeon
- Wisteria/BDEC-01 : NVIDIA GPU
- 名古屋大学 Flow : Fujitsu A64FX

(2) 共同研究者

- 代表者 小野寺 直幸 (JAEA) 研究総括・計算コードの開発
- 副代表者 青木 尊之 (東工大) TSUBAME3.0での最適化の助言
- 共同研究者 井戸村 泰宏 (JAEA) 計算結果の評価、Poisson解法の助言
- 河村 拓馬 (JAEA) 計算結果の可視化
- 朝比 祐一 (JAEA) ディレクティブおよび組み込みに関する助言
- 長谷川 祐一 (JAEA) GPUコードの最適化
- 杉原 健太 (JAEA) CFDモデルの構築
- 下川辺 隆史 (東大) Oakbridge-CX・BDECでの最適化の助言
- 大島 聡史 (名古屋大) Flowでの最適化の助言



✓ Multi-platform performance portability

✓ CFD applications in JAEA